

Арсеній СЕЛЕГЄЄВ¹, Валерія ОВЧАРУК², Олег ГРИБ³

¹ Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна
<https://orcid.org/0009-0007-9184-8363> e-mail: dekomeron16@gmail.com tel. + 380668269785

² Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна <https://orcid.org/0000-0001-5654-3731>
e-mail: valeriya.ovcharuk@gmail.com tel.+380662214636

³ Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна <https://orcid.org/0000-0003-3279-0126>
e-mail: crimskiy2015@gmail.com tel.: +380667924665

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.97.032>

ЗАСТОСУВАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ МАСШТАБУ ТОПОГРАФІЧНОЇ КАРТИ НА ГІДРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РІЧКОВОЇ МЕРЕЖІ СІВЕРСЬКОГО ДОНЦЯ

Геоінформаційні технології на сьогодні використовуються у багатьох сферах життєдіяльності людини як у повсякденному житті, так й у наукових дослідженнях. Представлене дослідження присвячено виявленню зв'язку між масштабом топографічних карт та основними гідрографічними характеристиками річки на основі даних спостережень в басейні Сіверського Донця. Дослідження базується на результатах ідентифікації гідрографічної мережі, яка була виконана на основі відкритої карти світу Open Street Map в геоінформаційному середовищі програми QGIS з використанням методу А. Н. Штраллера та І. Н. Гарцмана. Процес виявлення, опису та аналізу субпідрядних зв'язків полягає в присвоєнні кожному елементу річкової мережі свого ідентифікаційного порядку, за допомогою якого з'являється можливість порівняння та стандартизації водотоків. Оперуючи ієрархічним “деревом” руслової мережі, головною характеристикою в якій є кількість елементарних нерозгалужених водотоків, можливо виявити та аналітично описати залежності між деталізацією карти та основними характеристиками будови річкової мережі – витратами води, щільністю мережі, площею водозбору та довжиною річки. За основу для опису цих зв'язків була взята методика Б. В. Кіндюка, який ввів поняття коефіцієнта структури річкової мережі або ж дробового порядку водотоку як базис в апроксимації вищезазначених залежностей, який дає змогу математично описати отримані функції й отримати числові значення емпіричних параметрів. Використання QGIS допомогло створити картосхеми гідрографічної мережі Сіверського Донця в межах України на основі карт масштабів 1:50 000 та 1:200 000. За їх допомогою, а також за даними з карти масштабу 1:100 000, підрахована кількість елементарних нерозгалужених водотоків, а також ідентифікований кожен елемент системи, де порядок головної річки знає змін залежно від масштабу карти. Зміна цих показників демонструє тенденцію до збільшення щільності та складності річкової мережі зі збільшенням деталізації карти і, як наслідок, потенційної зміни показників площі водозбору, витрати води й довжини річки. Виявлені залежності отримали математичне вираження у вигляді функцій, а також характеризуються високими значеннями коефіцієнта достовірності апроксимації, що дало змогу побудувати загальний перехідний графік від порядку водотоку до масштабу карти із відповідними значеннями розрахункових параметрів. Новизна та практична значущість полягає у тому, що використання сучасних геоінформаційних технологій в гідрологічній науці значно підвищує якість картографічних даних, а щодо досліджуваного об'єкта – річки Сіверський Донець, створює базу у вигляді цифрових карт для подальшого використання в гідрографо-геодезичних дослідженнях. Цей суббасейн раніше не досліджувався з використанням запропонованої Б. В. Кіндюком методики стосовно впливу масштабів карт на характеристики будови річкової мережі, що в практичному плані значно ускладнює роботу інженерів, дослідників і проєктантів з картографічними даними. Це дослідження повинно пояснити особливості в масштабуванні річкових мереж, а також запропонувати механізм науково обґрунтованого переходу від наявного масштабу карти до бажаного в межах суббасейну Сіверського Донця.

Ключові слова: QGIS, гідрографічна мережа, порядок водотоку, гідрологічні характеристики, масштаб карти.

Вступ

Суббасейн Сіверського Донця в межах державного кордону є головною водною артерією східного регіону України з більш ніж сторічною традицією гідрологічних спостережень. За цей

час накопичився великий масив даних, зокрема картографічних, які, з огляду на технологічний прогрес, дещо застаріли у своєму практичному застосуванні. Саме тому доцільно розглядати ГІС-технології як сучасний картографічний

інструмент, який повинен практично актуалізувати гідрологічні дані для потреб проєктантів та дослідників. Проте, як і паперові аналоги, електронні карти мають різні за величиною масштаби, які з різною деталізацією відображають реальні об'єкти на місцевості, зокрема гідрографічні. Згідно з чинним нормативними вимогами України [Основні положення, 1999], на державні топографічні карти масштабів 1:50 000, 1:100 000 та 1:200 000, як правило, нанесені лише ті річки, які мають довжину в масштабі карти 1 см та більше, а водотоки меншої довжини – не нанесені. Отже, на картах масштабу 1:50 000 зазвичай зображені всі більш-менш виражені водотоки довжиною понад 0,5 км, на картах масштабу 1:100 000 – понад 1 км, а на картах масштабу 1:200 000 – понад 2 км. Однак менша деталізація “спрощує” будову річкової мережі, тому під час практичного використання такого масштабу карти можуть виникати деякі складнощі, пов'язані з розбіжністю між реальними характеристиками річки і їх розрахованим значенням. Цю проблему виявив професор, доктор географічних наук Б. В. Кіндюк, в працях щодо вивчення гірських річок заходу України і, зокрема, впливу масштабу карти на характеристики будови гідрографічної мережі р. Ріка. Проте дослідженням безпосередньо річок суббасейну Сіверського Донця займався О. В. Бірюков, який акцентував свою увагу на річках Харківської області [Бірюков, 2012, 2016].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ретроспективному аналізу досліджень окремих морфометричних характеристик річкової мережі та кількості річок України (зокрема залежно від масштабів топографічних карт) та застосуванню типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі присвячена робота вчених В. В. Гребіня і В. В. Хільчевського [Гребінь, Хільчевський, 2016]. Питання, пов'язані з використанням даних дистанційного зондування Землі та ГІС замість вже застарілих топографічних карт масштабів 1:100 000 та 1:50 000 й ін. під час досліджень стану малих річок Півдня України неодноразово розгля-

далися у публікаціях вчених Одеського державного екологічного університету [Гриб та ін., 2019; Loboda et al., 2020; Hryb et al., 2021]. Аналітичний огляд сучасних досліджень закордонних вчених показав, що ця тематика є актуальною у світі. Так, канадські вчені [Lindsay et al., 2019] в результаті дослідження річкової системи в регіоні озер Онтаріо та Ері запропонували новий векторний метод аналізу гідрографічної мережі для впорядкування водотоків, позначення басейнів та ідентифікації головних водотоків та їх приток. На прикладі річок Косово автори [Hazir S. Çadraku, 2022] показали, що використання методів ГІС, цифрових моделей рельєфу (DEM), інструментів растрової геообробки та програмного забезпечення, наприклад такого, як ArcMap, є швидким і одночасним рішенням для оцінки, вимірювання та аналізу морфометричних параметрів річкових басейнів. Румунські вчені [Raduca et al., 2021] на одному з етапів свого дослідження еволюції річки Блахніца в умовах антропогенного втручання, таких як: будівництво зрошувальної системи, ставків, упорядкування земляних дамб та каналізації русла, використали цифрові дані, отримані в результаті аналізу картографічних документів, що суттєво сприяло ідентифікації гідрографічної мережі впродовж розглянутого періоду (1978–2020 рр.). Важливість визначення порядку водотоків для топографічного моделювання поверхні Індонезії показано в роботі індонезійських вчених “Stream order selection for model generalization of the topographic map of Indonesia” [Fahrul Hidayat et al., 2020]. Автори цього дослідження виконали порівняння методів ідентифікації річкової мережі запропоновані свого часу Штраллером [Strahler, 1957], Шреве [Shreve, 1966], Шайдегером [Scheidegger, 1966] та Друалом [Drwal, 1982] та віддали перевагу методу Шайдегера.

Метою дослідження є забезпечення та удосконалення науково-методичної бази для інженерів-проєктантів, які працюють з гідрографічною мережею, на прикладі Сіверського Донця, і не завжди мають технічні можливості для вивчення кожного водотоку цієї системи, щоб приймати доцільні практичні рішення. **Завданням** дослідження є проаналізувати вплив

масштабу карти на кількісні характеристики будови річкової мережі Сіверського Донця з використанням даних натурних гідрологічних спостережень та ідентифікації з використанням геоінформаційної системи QGIS.

Методика дослідження

Основою ідентифікації річкової мережі є метод, запропонований А. Н. Штраллером та І. Н. Гарцманом, суть якого полягає в тому, що елементарний нерозгалужений водотік отримує порядок P_1 , зливаючись, однопорядкові елементи підвищують порядок утвореного водотоку на один ступінь. Проте, якщо в потік вищого порядку вливається потік з нижчим порядком водотоку, то в такому разі значення порядку не збільшується і залишається незмінним до моменту впадіння однопорядкового елементу. За такого методу ідентифікації найвище значення порядку матиме найпотужніша річка, а система загалом підлягає стандартизації та порівнянню елементів між собою. Ідентифікація виконується з використанням карт різних масштабів, у цьому дослідженні – це 1:50 000, 1:100 000 та 1:200 000, в ході чого створюється картосхема гідрографічної мережі у вигляді ієрархічного “дерева” із нанесенням на ній всіх відображених водотоків системи з врахуванням субпідрядних зв’язків. Це дослідження передбачає також нанесення гідрологічних постів для оперування окремими елементами загального водозбору.

З метою впровадження ГІС-технологій в гідрологічну науку вищевказані картосхеми створені за допомогою інструментів оцифрування в програмі QGIS, а для нанесення розташування гідрологічних постів використані інструменти роботи з GPS-координатами [Часковський та ін., 2021].

Ідентифікація гідрографічної мережі передбачає не тільки ранжування елементів системи відповідно до порядку, але й підрахунок кількості водотоків в межах кожної водозабірної ділянки, обмеженої гідрологічним постом.

Проте в обраному методі ідентифікації присутній недолік, який полягає у тому, що порядки водотоків є цілими числами, що ускладнює їх застосування та аналітичний опис, бо в такому випадку в одну категорію водотоків

потрапляють річки, які відрізняються між собою за багатьма характеристиками та не можуть об’єктивно порівнюватись. Тому, відповідно до правок, які внесли Р. Л. Шреве та І. Н. Гарцман, задля уникнення великої долі узагальнення, в порівнянні водотоків, і, як наслідок, збільшення об’єктивізації, впровадженний метричний крок у вигляді числа елементарних водотоків S_i , бо саме ця характеристика найбільш промовисто описує складність системи.

З використанням цього параметру можна розрахувати коефіцієнт структури річкової мережі або ж дробовий порядок водотоку, запропонований Б. В. Кіндюком, який дає можливість розширити ієрархію порядків задля покращення процесу порівняння [Кіндюк, 2003].

Аналітичне вираження залежності кількості елементарних потоків від деталізації карти представлено виразом:

$$K_i = 1 + \lg S_i, \quad (1)$$

де K_i – дробовий показник порядку; \lg – бінарний логарифм (з основою $e = 2$); S_i – кількість елементарних водотоків.

Використовуючи дробовий порядок водотоку K_i як аргумент та характеристику будови річкової мережі як функцію, можна побудувати залежності, які дають змогу проаналізувати вплив деталізації масштабу на кожну з характеристик. В цьому дослідженні використовуються чотири основні параметри річкової мережі – витрати води, густина річкової мережі, площа водозбору та довжина річки.

Основна залежність порядку водотоку від масштабу є сімейством редуруючих кривих, де окремо взятий елемент належить до окремої ділянки водозбору. Для того, щоб географічно прив’язати ці криві до загальної території водозбору, використовують максимальні та мінімальні значення дробового порядку водотоку зі всього поля розрахованих величин, які формують на графіку дві відповідні криві, окреслюючи межі значення цього параметра для всього водозбору.

Аналіз вищезазначених залежностей дає змогу обґрунтувати специфічність обраного масштабу в будь-якій гідротехнічній роботі з використанням карт, а також запропонувати методику розрахунку числових показників гід-

рографічної характеристики для різного ступеня деталізації місцевості без обмежень масштабом наявної карти.

Результати ідентифікації гідрографічної мережі

Ідентифікація гідрографічної мережі суб-басейну Сіверського Донця в межах державного кордону України виконувалась з використанням трьох масштабів – 1:50 000, 1:100 000 та 1:200 000. Слід зазначити, що в середовищі геоінформаційної системи QGIS Desktop 3.28.2 опрацьовані лише два масштаби – 1:50 000 та 1:200 000, а для демонстрації переваг електронної карти над паперовою, дані стосовно масштабу 1:100 000 взяті з попереднього дослідження і представлені у вигляді кінцевого результату без детального опису процесу ідентифікації [Селегєєв, 2019]. Для впорядкування в загальну ієрархічну структуру досліджуваної мережі використано безкоштовну карту світу Open Street Map із системою координат EPSG:3857-WGS84 / Pseudo-Mercator, на основі якої оцифровано дві картосхеми (рис. 1, 2) гідрографічної мережі для двох різних масштабів.

Вниз за течією від с. Огірцеве та с. Ратище в Сіверський Донець впадає його перша лівобереж-

на притока р. Вовча, яка змінює свій порядок від P_2 до P_3 залежно від використаного масштабу – 1:200 000 та 1:50 000, відповідно. Таким же чином змінюється порядок р. Пільної ($P_1 \rightarrow P_2$), р. Хотомлі ($P_2 \rightarrow P_3$), яка впадає поблизу с. Першотравневе, а також р. Гнилиця ($P_1 \rightarrow P_3$), що підживлює головну річку поблизу с. Софіївка.

Просуваючись вниз за течією, в Сіверський Донець впадають його лівобережні притоки – р. Сухий Бурлук ($P_1 \rightarrow P_2$) та р. Великий Бурлук ($P_1 \rightarrow P_3$), і тут необхідно зазначити, що відбувається значний стрибок кількості водотоків та їх порядків залежно від масштабу.

Тобто, наприклад, пересуваючись на правобережжя Сіверського Донця, в нього почергово впадають річки Велика Бабка, Тетлежка та Чуговка, порядок яких в масштабі 1:200 000 складає P_1 , а р. Чуговка зовсім не відображається, проте вже за масштабу 1:50 000 порядок р. Велика Бабка збільшується до P_3 , а р. Чуговка “проявляється” та отримує P_1 . Тенденція до збільшення кількості водотоків та їх порядків, залежно від масштабу карти, спостерігається майже на всій ділянці дослідженої гідрографічної мережі.

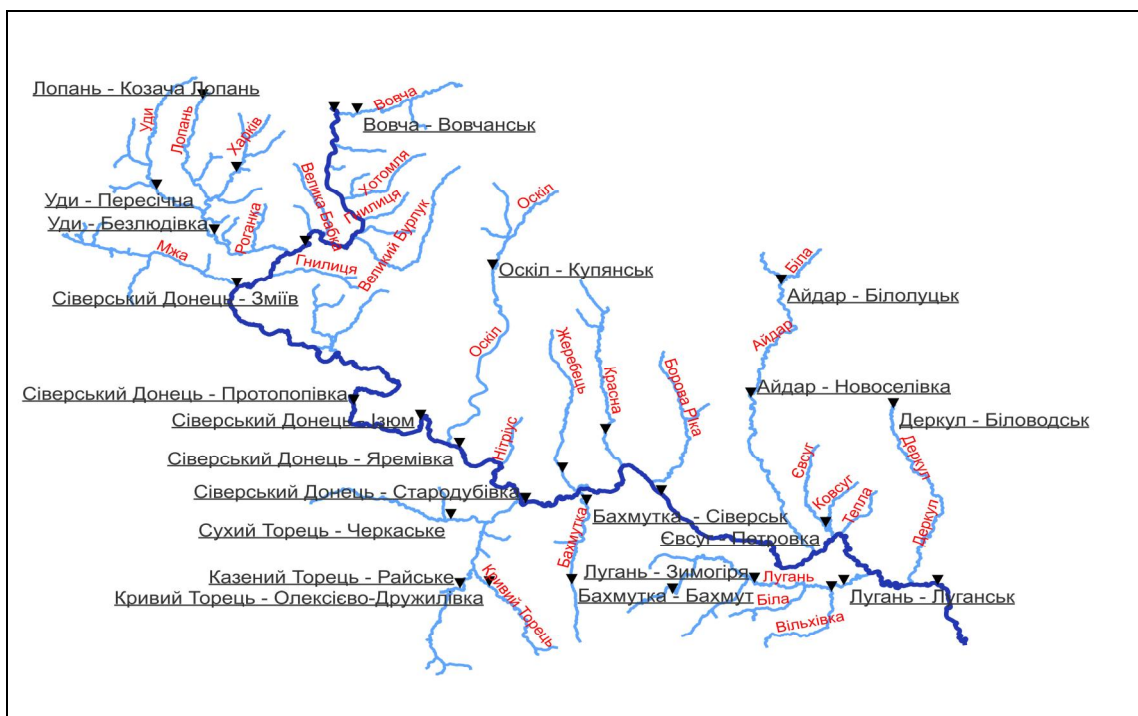


Рис. 1. Картосхема гідрографічної мережі Сіверського Донця, отримана з використанням карти масштабу 1:200 000

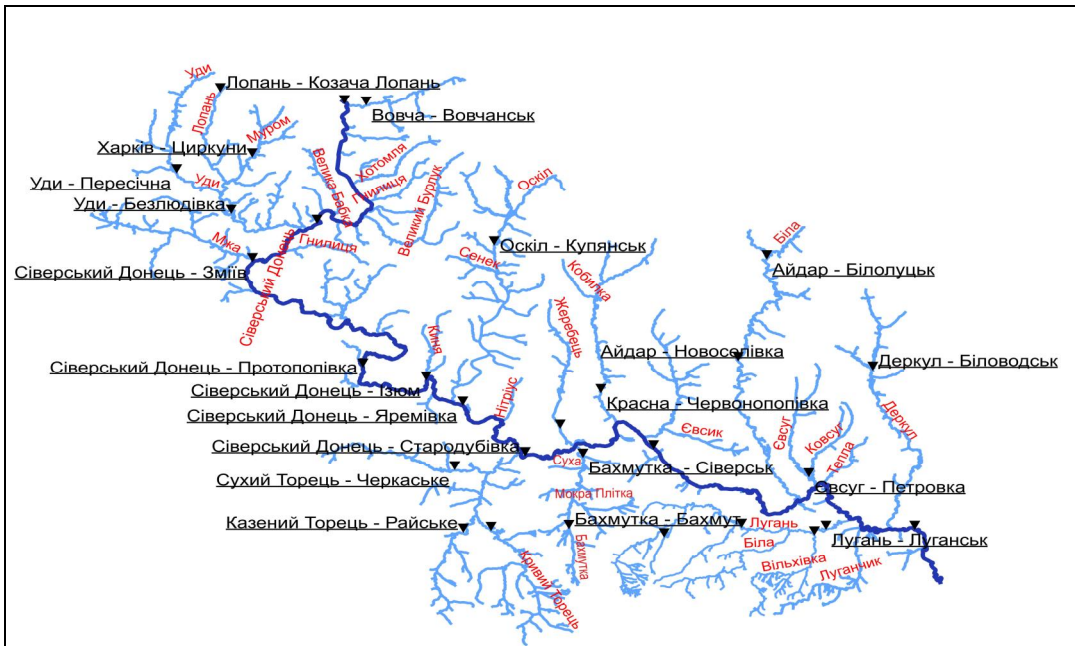


Рис. 2. Картохема гідрографічної мережі Сіверського Донця, отримана з використанням карти масштабу 1:50 000

Таким чином, ми дійшли до однієї з найрозгалуженіших приток Сіверського Донця – р. Уди, яка приймає в себе води значних річок Харків та Лопань. Беручи до уваги виявлену тенденцію щодо впливу масштабу карти на кількість та порядок водотоків, виявилось, що в цій системі річок вона проявляється лише в зміні кількості водотоків, але не впливає на порядок головних річок. Так, р. Харків в обох масштабах має порядок P_3 , р. Лопань – P_2 , а безпосередньо р. Уди як головуючий водотік регіону є системою з порядком P_4 , що на цій ділянці гідрографічної мережі є найбільшим значенням, тому Сіверський Донець привласнює його та залишає без змін до впадіння р. Оскіл. Потрібно зазначити, що на цій ділянці в масштабі 1:200 000 порядок Сіверського Донця залишатиметься без змін до завершального створу ідентифікації й становитиме P_4 , тому подальші описи підвищення порядку будуть стосуватися виключно масштабу 1:50 000.

Надалі з лівобережжя впадає досить невелика р. Гнилиця, яка має однаковий порядок незалежно від масштабу $P_2=P_2$, а також з правобережжя свої води вносить р. Мжа, порядок якої також не зазнає змін через зміну масштабу карти ($P_3=P_3$). Проте, треба зазначити, що як і в більшості водотоків, у р. Мжа загальна кількість водотоків значно варіюється залежно від використаного масштабу карти,

тобто, за 1:200 000 вона складає 9, а за 1:50 000 – вже 34. Звідси впливає два аспекти виявленої тенденції впливу масштабу карти на кількість та порядок водотоків, а саме: по-перше, детальніший масштаб карти практично завжди (якщо не брати до уваги зовсім малі нерозгалужені водотоки, які примикають безпосередньо до Сіверського Донця) збільшує кількість водотоків, які належать до конкретної гідрографічної мережі, а по-друге, на відміну від кількості приток, їх порядок – величина більш стала.

Поблизу м. Балаклія в Сіверський Донець впадає лівобережна притока р. Балаклійка ($P_1 \rightarrow P_3$) зі значним коливанням порядку головної річки, а далі, що цікаво, під час переходу від масштабу 1:200 000 до 1:50 000 в ділянці між р. Балаклійка та р. Оскіл “проступає” низка водотоків, які безпосередньо впадають в Сіверський Донець, а також мають досить розгалужену руслову мережу. Так, найбільший порядок (P_3) має лівобережний Мокрий Ізюмець, який впадає поблизу міста Ізюм, і дещо менші водотоки вгору за течією – р. Теплянка (P_1), Савинка (P_1), а також правобережні притоки р. Беречка (P_2) та р. Чепіль (P_1). Прорисовуючись далі від м. Ізюм, в Сіверський Донець впадають води однієї з найбільших його приток – р. Оскіл ($P_2 \rightarrow P_4$), яка промовисто демонструє вплив масштабу карти на кількість

та порядок водотоків. Так, рис. 3 та 4 демонструють, що за використання масштабу 1:200 000 він нараховує лише 3 притоки, які, зливаючись, утворюють досить елементарний водотік P_2 порядку, проте, під час переходу до детальнішого масштабу 1:50 000 кількість елементарних водотоків багаторазово зростає до 121, а порядок головної річки підвищується на два ступені, тобто до P_4 .

Після р. Оскіл Сіверський Донець почергово приймає води незначної лівобережної притоки р. Нітріус ($P_1=P_1$) та правобережної, вже більш розгалуженої р. Казенний Торець ($P_3 \rightarrow P_4$), до якої, своєю чергою, примикають річки Сухий Торець ($P_2 \rightarrow P_3$) та Кривий Торець ($P_2 \rightarrow P_4$). У цій локальній гідрографічній мережі мають місце обидва аспекти тенденції щодо зміни кількості водотоків та їх порядків. Так, в масштабі 1:200 000 кількість елементарних водотоків складає 13 на всю систему, а порядок головної річки Казенний Торець становить P_3 . Проте, якщо деталізувати цю ділянку, то отримаємо значно більшу чисельність елементарних приток (110), найрозгалуженішою річкою системи стає Кривий Торець (P_4), після впадіння якого цей порядок переймає Казенний Торець.

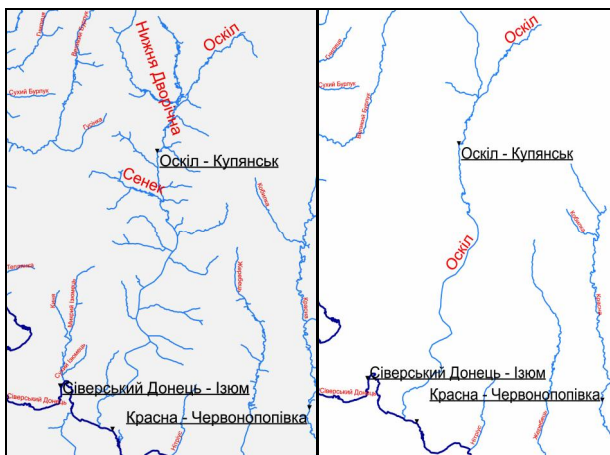


Рис. 3, 4. Вплив масштабу на детальність гідрографічної мережі (на прикладі р.Оскіл)

До того моменту в Сіверський Донець впадають менш розрядні притоки: р. Бахмутка ($P_2 \rightarrow P_3$), р. Жеребець ($P_1 \rightarrow P_3$), р. Красна ($P_2 \rightarrow P_3$), а також р. Борова, яка трансформується з досить елементарного потоку P_2 за масштабу 1:200 000 до розгалуженої системи водотоків за масштабу 1:50 000 з порядком P_4 , що лише підтверджує раніше виявлену тенденцію впливу масштабу карти на кількість і

порядок водотоків гідрографічної мережі. Надалі під час ідентифікації Сіверського Донця виявлені з використанням масштабу 1:50 000 дві невеликі правобережні притоки – р. Біленька Річка (P_2) та р. Біленька (P_2), які непомітні в більших масштабах і яскраво демонструють переваги детального масштабу в дослідженні руслової мережі.

Просуваючись на південь від с. Старий Айдар, лівобережна притока Сіверського Донця р. Айдар ($P_2 \rightarrow P_4$) впадає у головну річку, візуально видозмінюючись залежно від масштабу карти, який використовується під час її дослідження. Так, зі збільшенням деталізації карти збільшується і кількість елементарних водотоків від 2 до 45, а порядок головного водотоку за таких обставин підвищується до P_4 , проте він не впливає на порядок Сіверського Донця, бо на цій ділянці він вже становить P_5 . Аналогічні метаморфози властиві лівобережним притокам вниз за течією – р. Ковсуг ($P_2 \rightarrow P_3$) та р. Тепла ($P_1 \rightarrow P_3$).

Проте, найістотніші зміни демонструє правобережна притока Сіверського Донця – р. Лугань, схема ідентифікації якої наведена на рис. 5. Так, з використанням меншого масштабу 1:200 000 в межах цієї гідрографічної системи нараховується всього лиш 7 елементарних водотоків із порядком головної річки P_3 , що не є показником чогось неординарного.



Рис. 5. Деталізація руслової системи р. Лугань

Але під час масштабування цієї ділянки ми бачимо, що р. Лугань багатократно збільшує руслову розгалуженість, утворюючи складну деревоподібну систему водотоків, яких нараховується вже 124, а порядок головної річки становить P_5 , що є найбільшим показником для усіх приток Сіверського Донця. Таким чином, з

цього моменту порядок головної річки підвищується до P_6 , що є важливим науковим результатом цього дослідження.

В завершальній ділянці замикального створу поблизу с. Попівка Донецької обл. Сіверський Донець приймає води ще досить значних приток, таких як: правобережна р. Луганчик, яка відображається лише з використанням масштабу 1:50 000 і має порядок P_4 , та лівобережна р. Деркул ($P_1 \rightarrow P_3$), на яку також значною мірою впливає масштаб карти. Окрім названих іменних водотоків на карті масштабу 1:50 000 видно, що в Сіверський Донець впадає 35 елементарних водотоків, які не мають власних назв, проте вони становлять близько 4 % від загальної кількості елементарних водотоків системи.

В табл. 1 наведено порівняльні дані щодо кількості водотоків різних порядків залежно від використаного масштабу карти.

Таблиця 1

Кількість різнопорядкових водотоків для річок суббасейну Сіверського Донця

Порядок водотоку	Масштаб		
	1:50 000	1:100 000	1:200 000
I	838	273	80
II	198	91	23
III	41	22	5
IV	8	6	1
V	2	1	–
VI	1	–	–

Коефіцієнт структури річкової мережі. На досліджуваній території суббасейну Сіверського Донця налічується 30 гідрологічних постів, які розпорошені по всій гідрографічній системі. Для кожної водозабірної ділянки, обмеженої постом, розраховані коефіцієнти структури річкової мережі, основою яких є кількість елементарних нерозгалужених водотоків S_i .

Аналіз таких характеристик річкової системи Сіверського Донця, як довжина річки, площа водозбору, середні багаторічні витрати води та щільність мережі, проводилась на основі даних 28 гідрологічних постів на його водозбірному басейні [Вишневецький, Косовець, 2003]. Необхідно зазначити, що дані з гідрологічних постів р. Сіверський Донець – с. Огірцеве та р. Оскіл – м. Куп'янськ не використовувались через істотну “обрізок” державним кордоном їх водо-

забірних ділянок, що не дозволяє об'єктивно оцінити анонсовані залежності через фіктивну величину порядку водотоку, яка не відповідає фізичному референту.

Так, площі водозбору коливаються від 189 км² (р. Лопань – с. Козача Лопань) до 73200 км² (р. Сів. Донець – с. Кружилівка), довжини річок знаходяться в діапазоні від 23 км (р. Бахмутка – м. Бахмут) до 790 км (р. Сів. Донець – с. Кружилівка); витрати води представлено середньо-багаторічними значеннями максимальної водності на річках цього регіону [ДВК, 2017].

З використанням кількості елементарних водотоків розрахований дробовий порядок водотоків K_i для кожної водозбірної ділянки, значення якого наведено в табл. 2. Ця характеристика, відповідно до масштабу, змінюється таким чином: за масштабу 1:50 000 K_i змінюється в межах від 1 до 10.7; за масштабу 1:100 000 – від 1 до 9.1; за масштабу 1:200 000 – від 1 до 7.3.

Після того, як були розраховані значення K_i для кожної ділянки, з'явилася можливість побудувати чотири емпіричні залежності, використовуючи почергово як функцію площу водозбору F , довжину річки L , середньо багаторічні максимальні витрати води \bar{Q}_{\max} та суму елементарних водотоків у межах водозбору S_i , аргументом для всіх залежностей є K_i , тобто дробовий порядок водотоку. Графіки побудовані для всіх трьох масштабів, що використовуються в ідентифікації.

Для побудови логічного ланцюга міркувань слід почати з основи, а саме з щільності річкової мережі, на якій ґрунтуватимуться подальші висновки щодо впливу масштабу карти на характеристики річки.

Апроксимація першої залежності кількості елементарних водотоків S_i від величини дробового порядку водотоку K_i дала змогу отримати аналітичний вираз цієї функції:

$$S_i = a_1 e^{b_1 K_i}, \quad (2)$$

де e – основа натурального логарифма; a_1 і b_1 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від масштабу карти.

Також отримані емпіричні залежності (2)–(5) містять параметри a_i та b_i , значення яких знімається з графіку зв'язку між гідрографічною характеристикою та коефіцієнтом структури річкової мережі.

Таблиця 2

Основні гідрографічні дані та топологічні параметри річок суббасейну Сіверського Донця

№ з/п	Річка – Пункт	Площа водозбору F , км ²	Довжина річки L , км	Витрата води \bar{Q}_{max} , м ³ /с	Сумарне число водотоків S_i			Коефіцієнт структури мережі K_i		
					1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000
1	Сіверський Донець – Чугуїв	10300	216	190,4	105	33	11	7,7	6,0	4,5
2	Сіверський Донець – Зміїв	16600	260	310,8	208	84	40	8,7	7,4	6,3
3	Сіверський Донець – Протопопівка	19400	389	211,5	223	111	44	8,8	7,8	6,5
4	Сіверський Донець – Ізюм	22600	451	271,4	226	122	44	8,8	7,9	6,5
5	Сіверський Донець – Яремівка	38300	480	485,1	356	159	47	9,5	8,3	6,6
6	Сіверський Донець – Стародубівка	44400	543	508	440	194	59	9,8	8,6	6,9
7	Сіверський Донець – Лисичанськ	52400	623	474	556	222	67	10,1	8,8	7,1
8	Сіверський Донець – Кружилівка	73200	790	578,4	838	273	80	10,7	9,1	7,3
9	Вовча – Вовчанськ	1330	84,1	65,6	8	6	2	4,0	3,6	2,0
10	Уди – Пересічна	905	107	30,2	23	14	5	5,5	4,8	3,3
11	Уди – Безлюдівка	3300	122	111,1	54	53	14	6,8	6,7	4,8
12	Лопань – Козача Лопань	189	31	11,4	1	1	1	1,0	1,0	1,0
13	Харків – Циркуни	890	56	39,4	16	15	4	5,0	4,9	3,0
14	Казенний Торець – Райське	936	56	26	15	8	5	4,9	4,0	3,3
15	Кривий Торець – Олексієво-Дружківка	1530	75	28,1	42	16	2	6,4	5,0	2,0
16	Сухий Торець – Черкаське	1310	76	46,8	7	6	2	3,8	3,6	2,0
17	Бахмутка – Бахмут	433	23	9	16	6	1	5,0	3,6	1,0
18	Бахмутка – Сіверськ	1560	77	44,9	43	14	2	6,4	4,8	2,0
19	Жеребець – Торське	857	72	28,8	18	4	1	5,2	3,0	1,0
20	Красна – Червонопопівка	2540	131	77,2	20	5	3	5,3	3,3	2,6
21	Айдар – Білолуцьк	2250	73	113,3	8	7	2	4,0	3,8	2,0
22	Айдар – Новоселівка	6370	149	198,5	31	15	2	6,0	4,9	2,0
23	Євсуг – Петрівка	784	72	28,1	11	2	1	4,5	2,0	1,0
24	Лугань – Калинове	751	68	15,8	2	1	1	2,0	1,0	1,0
25	Лугань – Зимогір'я	1820	132	32,5	68	12	4	7,1	4,6	3,0
26	Лугань – Луганськ	3510	176	50,7	125	18	7	8,0	5,2	3,8
27	Вільхівка — Луганськ	814	82,1	17,2	42	3	1	6,4	2,6	1,0
28	Деркул – Біловодськ	1380	33	41,5	29	8	1	5,9	4,0	1,0

Згідно з математичною статистикою тіснота зв'язку між функцією та аргументом оцінюється величиною коефіцієнта кореляції r – для лінійних зв'язків, і коефіцієнта достовірності апроксимації R – для нелінійних (табл. 3).

Аналізуючи отриману залежність (рис. 6) для трьох масштабів карт, слід зазначити, що тісніший зв'язок спостерігається в масштабі 1:200 000 ($R=0,99$) та за спадною тенденцією зменшується в масштабі 1:50 000 ($R=0,85$). Цю

зміну можна пояснити тим, що під час зменшення величини масштабу, тобто, у разі збільшення деталізації місцевості, значною мірою зростає саме кількість елементарних нерозгалужених водотоків, а річкова мережа трансформується в складнішу субпідрядну систему і, як наслідок, через ієрархічні зв'язки стимулює ріст порядку водотоків, які утворюються. Тобто, чим величина масштабу більша, тим порядок водотоку менший і більш сталий (опосередковано на це впливає складність процесу ідентифікації), бо саме щільність річкової мережі впливає на його підвищення.

Таблиця 3

Коефіцієнти достовірності апроксимації гідрографічних характеристик водотоків від K_i для річок суббасейну Сіверського Донця

Характеристика	Масштаб		
	R		
	1:50 000	1:100 000	1:200 000
$F = f(K_i)$	0,89	0,92	0,91
$L = f(K_i)$	0,85	0,86	0,91
$\bar{Q}_{\max} = f(K_i)$	0,79	0,88	0,87
$S_i = f(K_i)$	0,99	0,92	0,85

Апроксимація другої залежності між довжиною річки L та величиною K_i дала змогу одержати аналітичне вираження функції:

$$L = a_2 e^{b_2 K_i}, \quad (3)$$

де e – основа натурального логарифма; a_2 і b_2 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від масштабу карти.

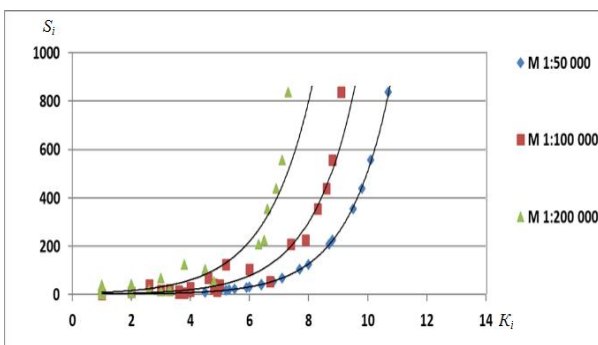


Рис. 6. Графік залежності кількості елементарних водотоків S_i від дробового порядку водотоку K_i для річок суббасейну Сіверського Донця

Оперуючи коефіцієнтом достовірності апроксимації R , ми бачимо, що спадна тенденція,

яка демонструє спад тісноти зв'язку зі зменшенням величини масштабу, також простежується і в графіку залежності довжини річки від порядку водотоку (рис. 7).

Раніше ми з'ясували, що деталізація карти призводить до ускладнення будови річкової системи, підвищує кількість наявних водотоків, а також підвищує порядок останніх. Тоді, якщо мережа отримує розвиток у вигляді розростання субпідрядних зав'язків між водотоками (збільшується щільність системи), то цілком логічним наслідком цього процесу є збільшення довжини водотоків. Це пов'язано з тим, що місце, яке приймається за виток річки за даного масштабу, може змінювати своє місце розташування залежно від масштабу (а як ми знаємо вимірювання довжини річки виконується від витоків до гирла), бо деталізація дає змогу прослідкувати точний момент утворення нового водотоку чи взагалі його наявності як такого (і відповідно – зміни довжини). Вищевикладений аналіз дає змогу стверджувати, що на зміну довжини водотоку певною мірою впливає деталізація масштабу, а більш тісний зв'язок довжини до зменшення порядку водотоку обумовлений більшою відносністю розташування точки, яка приймається як виток.

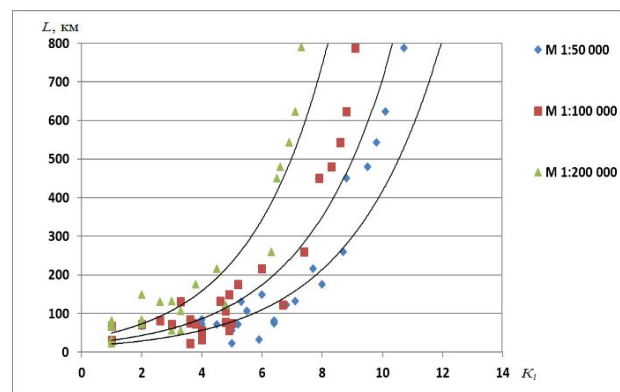


Рис. 7. Графік залежності гідрографічної довжини річок L від дробового порядку водотоку K_i для річок суббасейну Сіверського Донця

Апроксимація третьої залежності між площею водозбору F та величиною K_i дала змогу одержати аналітичне вираження функції:

$$F = a_3 e^{b_3 K_i}, \quad (4)$$

де e – основа натурального логарифма; a_3 і b_3 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від масштабу карти.

Як і у виразах (2) та (3), величина площі водозбору має досить тісний зв'язок з порядком водотоку (рис. 8). Таким чином висновки, які зроблені в попередніх аналізах, буде доречно використати з метою їх узагальнення та розвитку в межах всього водозбору. Так, при зменшенні величини масштабу карти щільність річкової мережі збільшується, порядок зростає, довжина також зазнає кількісних змін через «проявлення» нових субпідрядних елементів річки, які можна використовувати як виток, тоді водозбір, як характеристика, що об'єднує в собі всі процеси, що відбуваються з річковою мережею під впливом фізико-географічних факторів, а також картографічного зображення, переймає на себе раніше зроблені висновки. Тобто, збільшення величини масштабу створює більш статичну річкову систему, бо деталізація місцевості зменшується, а висотні точки узагальнюються. Таким чином, площа водозбору отримує скоріше усереднені обриси, ніж точний периметр вододільної лінії. Якщо ж брати до уваги детальніший масштаб, то, по-перше, зростає фактор більшої кількості висотних точок, по-друге, поступово розгалужуючись, річкова система захоплює нові території, з яких вона отримує живлення. Тобто, при зменшенні порядку водотоку площа водозбору, як і річкова система, стає простішою та узагальненою.

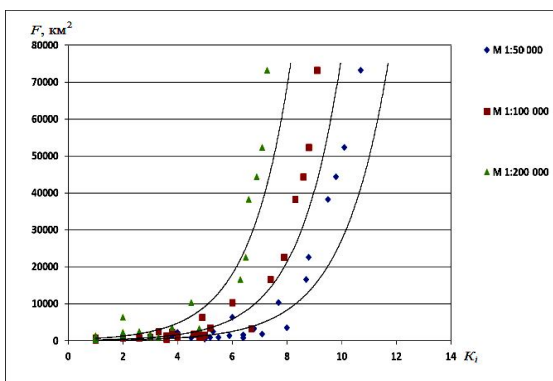


Рис. 8. Графік залежності площі водозбору F від дробового порядку водотоку K_i для річок суббасейну Сіверського Донця

Апроксимація четвертої залежності між середніми багаторічними значеннями максимальних витрат \bar{Q}_{\max} та величиною K_i дозволила одержати аналітичне вираження функції:

$$\bar{Q}_{\max} = a_4 e^{b_4 K_i}, \quad (5)$$

де e – основа натурального логарифма; a_4 і b_4 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від масштабу карти.

Враховуючи висновки, які зроблені під час аналізу попередніх залежностей виду (2), (3) та (4), ми можемо проаналізувати зв'язок між витратами води та порядком водотоків, що продемонстрований на графіку (рис. 9).

Так, під час деталізації річкова мережа зазнає кількісних змін у щільності системи, яка, своєю чергою, обумовлює зміну площі водозбору та довжини річки.

Окрім кількісних змін, річкова система також змінюється у якісному відношенні – в проблемі витрат води, проте ця характеристика в межах використаних масштабів найменше залежить від порядку водотоку, а для масштабу 1:50 000 ($R=0,79$) знаходиться на межі істотного впливу. Ця обставина пояснюється тим, що витрати води, на відміну від кількості водотоків, довжини річки й площі водозбору, характеристика, яка є досить мінливою і практично повністю залежить від фізико-географічних умов території, ніж від деталізації масштабу.

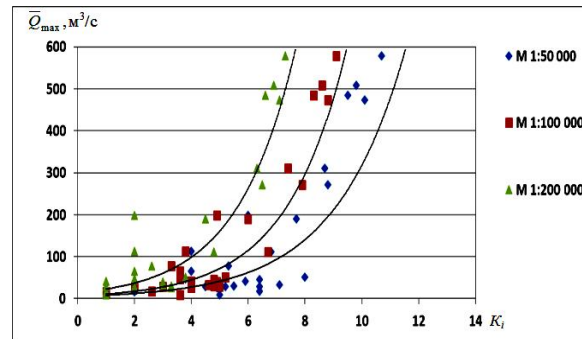


Рис. 9. Графік залежності витрат води \bar{Q}_{\max} від дробового порядку водотоку K_i для річок суббасейну Сіверського Донця

Проте річкова мережа є системою взаємопов'язаних характеристик, тому зміна площі водозбору F (як об'єднаної характеристики для території), залежно від масштабу карти, опосередковано впливатиме на витрати води. Тут зберігається виявлена тенденція, де за збільшення величини масштабу карти гідрографічна характеристика має тісніший зв'язок із порядком водотоку, бо зі зменшенням складності системи також зменшується кількість точок, в яких може спостерігатися відмінність, що істотно впливатиме на водність річки.

Параметри розрахункових залежностей

Аналізуючи величини параметрів a_i та b_i (табл. 4), які фігурують в розрахункових формулах виду (2)–(5), можна стверджувати про наявність деяких закономірностей. Так, параметри a_1, a_2, a_3, a_4 у всіх залежностях зростають зі збільшенням величини масштабу (або зі зменшенням деталізації), проте їхні числові показники значно перевищують результати аналогічного дослідження щодо малих річок басейну р. Ріка, яке виконувалося Б. В. Кіндюком. Цю відмінність можна пояснити новизною цього

дослідження, яка полягає у зміні типу досліджуваної мережі з гірської на рівнинну і, як наслідок, суттєвого збільшення таких характеристик як L, F, \bar{Q}_{\max} та S_i . Параметри b_1, b_2, b_3, b_4 також збільшуються, проте зміна їхніх значень відносно невелика, залежно від деталізації карти. З фізичної точки зору описані вище тенденції залежностей можна пояснити за допомогою графіків зв'язку (див. рис. 6–9), де лінії, які описують функції, майже рівнобіжно одна до одної аналітично описують одну і ту ж ієрархічну структуру з різним ступенем деталізації.

Таблиця 4

Значення параметрів розрахункових залежностей a_i та b_i для річок суббасейну Сіверського Донця

Характеристика	Параметр	Масштаб карти					
		1:50 000		1:100 000		1:200 000	
		Числові значення параметрів	R	Числові значення параметрів	R	Числові значення параметрів	R
Кількість водотоків S_i	a_1	0,50	0,99	1,40	0,92	4,61	0,85
	b_1	0,69		0,67		0,65	
Довжина річки L , км	a_2	14,85	0,85	21,43	0,86	33,76	0,91
	b_2	0,33		0,35		0,39	
Площа водозбору F , км ²	a_3	69,87	0,89	122,12	0,92	328,03	0,91
	b_3	0,59		0,65		0,67	
Середньобаторічна витрата води \bar{Q}_{\max} , м ³ /с	a_4	5,39	0,79	6,71	0,88	13,90	0,87
	b_4	0,41		0,47		0,49	

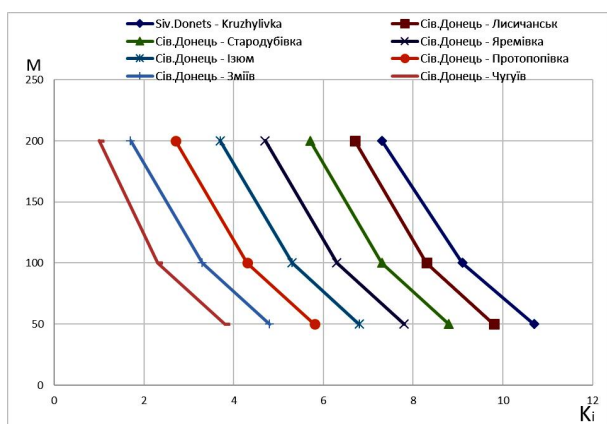


Рис. 10. Загальна залежність порядку водотоку K_i від масштабу карти M для річок суббасейну Сіверського Донця

Слід зазначити, що розбіжність в значеннях достовірності апроксимації R досить прийнятна і коливається в межах від 0,79 до 0,99, що відповідає значущості цього показника й обґрунтовує виконані аналізи.

В процесі ідентифікації річкової мережі за трьома зменшуваними масштабами, закономірно отримані величини порядків водотоку, що також поступово редукують. Так, наприклад, дробовий порядок головної річки мережі Сіверського Донця з використанням масштабу 1:50 000 становить 10,7, 1:100 000 – 9,7, а 1:200 000 – 7,3.

Подібні закономірності стосовно зменшення порядку водотоку під час збільшення масштабу

карти спостерігаються на всіх 28 ділянках водозбору. Це дає змогу побудувати сумісний графік залежностей (рис. 10) виду $M = f(K_i)$, де як функція виступає масштаб карти M , а аргументом – коефіцієнт структури річкової мережі K_i (або дробовий порядок водотоку). Для того, щоб ці залежності належали до всієї території водозбору, на графік нанесені мінімальні та максимальні значення K_i (див. табл. 2) відповідно до масштабу.

Новизна дослідження

Використання ГІС-технологій (на прикладі програми QGIS) дозволило вийти на якісно новий рівень ідентифікації річкової мережі в силу розширених можливостей маніпуляцій з картами. Так, результатом минулих досліджень з використанням паперової карти була досить примітивна, узагальнена картосхема, яка надавала можливість відносної демонстрації складності річкової мережі, вже не кажучи про трудомісткість її створення. Інструментарій QGIS удосконалив методику ідентифікації, що значно підвищило її інформативність та точність.

Головні дослідження, що стосувалися ідентифікації гідрографічної мережі Сіверського Донця, належали працям О. В. Бірюкова, проте вони не оперували такою кількістю даних, яку забезпечило використання трьох відмінних масштабів. Цю особливість доречніше було б транспонувати на дослідження річок Західної України Б. В. Кіндюка, але ж він також не застосовував у своїй роботі потужності геоінформаційних систем. Тому, саме це дослідження поєднує в собі методологію Б. В. Кіндюка та специфіку регіону О. В. Бірюкова з новітніми технологічними можливостями.

Практична значущість

Важливим результатом роботи стала демонстрація актуального використання ГІС-технологій в дослідженнях, які стосуються картографічної складової гідрологічної науки. Популяризація цього методу підвищує якість, інформативність та швидкість опрацювання гідрологічних даних в перспективному розрізі. Стосовно конкретного прикладу, наведеного в статті, то практичним результатом роботи стали картосхеми гідрографічної мережі Сіверського

Донця, які будуть використовуватись в подальшому розвитку цієї тематики або ж можуть використовуватись для потреб інших науковців чи майбутніх досліджень.

Застосування методики й методології щодо вивчення впливу масштабу карти на характеристики будови річкової мережі дозволило виявити, математично описати й науково обґрунтувати залежності, які дають змогу інженерам або ж дослідникам розрахувати необхідні для реалізації практичних завдань гідрографічні характеристики Сіверського Донця за допомогою всього лише величини порядку водотоку. Це означає, що маючи в оперативному користуванні карту певного масштабу, який не задовольняє потреби проекту або дослідження, користувачу достатньо скористатися графіком залежності порядку водотоку K_i від масштабу карти M (див. рис. 10), зняти з нього величину дробового порядку водотоку K_i (згідно з бажаним масштабом) і обрати відповідні значення параметрів a_i та b_i . Отримавши всі необхідні числові дані щодо членів розрахункових залежностей, можна розрахувати величину будь-якої гідрографічної характеристики Сіверського Донця з рівнянь (2), (3), (4) або (5) і застосувати її у власних розрахунках.

Висновки

Басейн Сіверського Донця на сьогодні практично повністю знаходиться в межах території військових дій, а отже, дослідження його гідрографічної мережі з використанням ГІС-технологій є практично єдиною можливим інструментом в умовах воєнного стану.

Одним з найважливіших завдань у післявоєнній відбудові країни буде відновлення зруйнованих гідротехнічних споруд, дамб, мостових переходів та мостів. Для вирішення цих завдань необхідні детальні та актуальні відомості про гідрографічну мережу території.

У цьому дослідженні показано, що використання ГІС-технологій дає змогу отримати якісні картосхеми гідрографічної мережі, які можуть бути використані в гідрологічних та гідротехнічних дослідженнях.

Аналіз впливу масштабування на характеристики будови річкової мережі Сіверського Донця показав його важливість для практич-

ного використання та доводить цінність використаної методики, яку свого часу запропонував Б. В. Кіндюк.

Подальші перспективи розвитку дослідження полягають у використанні характеристик гідрографічної мережі, отриманих із використанням ГІС-технологій як індикатора змін клімату та його впливу на водні ресурси Сходу України. Так, наприклад, порівняння, топографічних карт різних років видання дасть змогу прослідити динаміку зникнення малих водотоків та появи нових антропогенно змінених.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бірюков О. В. Будова та стік річкової системи Сіверського Донця в межах Харківської області. *Наук. Вісн. Чернівецького нац. ун-ту*. 2016. Географія. С. 11–19.
- Бірюков О. В. Дистанційне дослідження гідрографічної мережі річки Уди. *Наук. зап. Тернопільського національного педагогічного ун-ту імені Володимира Гнатюка. Сер. Географія*. 2012. Тернопіль. № 3 (33).
- Вишневецький В. І., Косовець О. О. Гідрологічні характеристики річок України. К. : Ніка-Центр, 2003. 324 с.
- Гребінь В. В., Хільчевський В. К. Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 2 (41). С. 32–47.
- Гриб О. М., Сербов М. Г., Яров Я. С., Бояринцев Є. Л., Терновий П. А., Пилип'юк В. В. Оцінка сучасного стану прибережних захисних смуг у басейні річки Великий Куюальник та загальні рекомендації щодо заходів з його поліпшення у майбутньому. *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології*. К. : Ніка-Центр, 2019. С. 90–99.
- Державний водний кадастр: Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2011–2015 рр. та весь період спостережень). Ч. 1: Річки. Вип. 3: Басейни Сіверського Дінця, річок Приазов'я. К., 2017. 465 с.
- Кіндюк Б. В. Система показників для визначення параметрів структури річкової мережі при переході від одного масштабу карт до іншого. *Вісн. геодезії та картографії*. 2003. № 4(31). С. 26–31.
- Кіндюк Б. В. Характеристики будови річкової мережі і фактори формування максимального зливого стоку в басейні р. Ріка. *Наук. зап. Він. держ. пед. ун-ту*. 2003. Вип. 5. С. 103–110.
- Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. Затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України № 156 від 31.12.1999 р. і погоджені з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України.
- Селегеев А. Історія виникнення та методи ідентифікації сучасної гідрографічної мережі Сіверського Донця : матер. студ. наук. конф. ОДЕКУ, м. Одеса, 15-18 квіт. 2019 р., Одеса, 2019. С. 152, 153.
- Часковський О., Андрейчук Ю., Ямелинець Т. *Застосування ГІС у природоохоронній справі на прикладі відкритої програми QGIS* : навч. посіб. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, Вид. Простір-М, 2021. 228 с.
- Drwal, J., (1982). Wykształcenie i organizacja sieci hydrograficznej jako podstawa oceny struktury odpływu na terenach młodoglacjalnych. Uniwersytet Gdański in Gdańsk.
- Fahrul, H., Nugroho, P., Danang, B. S., Mochamad, I. H., Tia, R., Nuzula, R., & Rizka, W. (2020). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 500 012022, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012022>.
- Hazir S. Çadraku. (2022). Analyzing Morphometric Parameters and Designing of Thematic Maps Using Raster Geoprocessing Tool. *Civil Engineering Journal*, 8(9), 1835-1845. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-09-06>.
- Hryb O., Loboda N., Yarov Ya., Hrashchenkova T., Hryb O. Assessment of the filling regime and variability of morphometric characteristics of ponds and reservoirs of small rivers of the steppe zone of Ukraine using data from remote sensing of the Earth (on the example of the Velykyi Kuyalnyk River). *International Conference of Young Professionals "GeoTerrace-2021"*, October 4–6, 2021. Lviv, Ukraine. P. 1–5. URL: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2021/assessment-filling-regime-and-variability-morphometric-characteristics-ponds>.
- Lindsay, J. B, Yang, W., & Hornby, D. D. (2019). Drainage Network Analysis and Structuring of Topologically Noisy Vector Stream Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(9):422. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090422>.
- Loboda, N., Hryb, O., Yarov, Ya., Pylypiuk, V., & Balan, A. (2020). Monitoring of coastal protective strips of the Velykyi Kuyalnyk River and recommendations for their state improvement in the future. *International Conference of Young Professionals "GeoTerrace-2020"*, December 7–9, 2020, Lviv, Ukraine. P. 1–5. URL: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2020/monitoring-coastal-protective-strips-velykyi-kuyalnyk-river-and>.
- Răducă Cristian, Sandu Boengiu, Oana Mititelu-Ionu & Constantin Enache. (2021). Correlation of the relief conditions, hydrographic network features, and human interventions within the Blahnița river basin (South-

- western Romania), *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February, 16(1). 117–127. <https://doi.org/10.26471/cjees/2021/016/160>.
- Scheidegger, A. E. Statistical description of river networks. *Water Resources Research*, 1966. 2(4): p. 785–790. <https://doi.org/10.1029/WR002i004p00785>.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913–920.
- Shreve, R. L., Statistical law of stream numbers. *The Journal of Geology*, 1966. 74(1): p. 17–37. <https://doi.org/10.1086/627137>.

Arsenii SELEHIEIEV¹, Valeriya OVCHARUK², Oleg HRYB³

¹ Odesa State Environmental University, 15, Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0007-9184-8363>
e-mail: dekomeron16@gmail.com, tel. +380668269785

² Odesa State Environmental University, 15, Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-5654-3731>
e-mail: valeriya.ovcharuk@gmail.com, tel. +380662214636

³ Odesa State Environmental University, 15, Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-3279-0126>
e-mail: crimskiy2015@gmail.com, tel. +380667924665

GIS TECHNOLOGIES APPLICATION FOR ANALYSIS OF THE TOPOGRAPHIC MAP SCALE EFFECT ON HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SIVERSKYI DONETS RIVER NETWORK

Nowadays, GIS Technologies are used in many areas of human life, both in everyday life and scientific research. The purpose of the presented study is to identify the relationship between the scale of topographic maps and the main hydrographic characteristics of the river based on the data of observations in the Siverskyi Donets basin. The study is based on the results of the identification of the hydrographic network, which was performed based on the Open Street Map in the GIS environment of the QGIS program using the method of A. N. Strahler and I. N. Hartzman. The process of identifying, describing, and analyzing subcontracted connections consists in assigning its identification order to each element of the river network, which makes it possible to compare and standardize streams. Operating with a hierarchical “tree” of the channel network, the main characteristic of which is the number of elementary, unbranched streams, it is possible to identify and analytically describe the dependencies between the detailing of the map and the main characteristics of the river network structures, such as water discharges, network density, drainage basin area, and river length. The basis for describing these relationships was the method of B. V. Kindiuk, who introduced the concept of the coefficient of the river network structure or the fractional order of the stream as a basis for approximating the above-mentioned dependencies, which allows mathematically describing the obtained functions and obtaining numerical values of empirical parameters. Using QGIS made it possible to create maps of the Siverskyi Donets hydrographic network within Ukraine based on maps of scales 1:50 000 and 1:200, 000. With their help, as well as data from a 1:100,000 map, the number of elementary unbranched watercourses was calculated, and each element of the system was identified, where the order of the main river changes depending on the map scale. The change in these indicators shows a tendency to increase the density and complexity of the river network with increasing map detail, and, as a result, potential changes in indicators of the catchment area, water runoff, and river length. The identified dependencies were expressed mathematically in the form of functions, and are also characterized by high values of the approximation reliability coefficient, which made it possible to construct a general transitional graph from the order of the water flow to the scale of the map with the corresponding values of the calculation parameters. The novelty and practical significance lie in the fact that the use of modern GIS technologies in hydrological science significantly increases the quality of cartographic data and concerning the studied object - the Siverskyi Donets River creates a database in the form of digital maps for further use in hydrographic studies. This sub-basin has not been previously studied using the methodology proposed by B. V. Kindiuk about the influence of map scales on the characteristics of the river network structure. Such study from a practical point of view, can significantly help the work of engineers, researchers, and designers with cartographic data. This study is designed to explain the peculiarities in the scaling of river networks and propose a mechanism for a scientifically based transition from the existing map scale to the desired one within the Siverskyi Donets sub-basin.

Key words: QGIS, hydrographic network, stream order, hydrological characteristics, map scale.

Надійшла 26.04.2023 р.